

1-1 自然界の共生をさぐる

高知大学大学院黒潮圏海洋科学研究科

奥田 一雄

プロローグ

ここでは、生物のありかたという同じ対象を異なる視点で見た3つの物語を挙げる。舞台は共通なので、同様の内容が繰り返し現れる。本章のキーワードは自然界の共生であるが、本文中に共生という語はあまり出てこない。その理由は、共生という語から直感的に、または感覚的に想起される一般概念をできるだけ遠ざけたいからである。物語は自然と生物の関係および生物と生物の関係を時間軸に沿って、あるいは空間的な拡がりをもって描写する。読者には、想像たくましく物語の世界をふくらませ、自然界における共生の意味を考えてほしい。

1. 宇宙の中の生物的自然

アルバート・アインシュタインが特殊相対性理論を含む3つの論文を発表してから、2005年でその百周年となった。これらの業績が現代物理学の礎となったことを記念し、国連総会は2005年を世界物理年とすると宣言した。

物理学は、物（もの）の理（ことわり）を探求する学問である。宇宙は何からできているのか、どのような原理・法則で成り立っているのかを明らかにする。化学もしかし、物の形と性質の変化、およびそれらの法則を解明する。物理学と化学の論理を組み立て、さらに新しい理論を発見するのが数学である。宇宙の普遍的な法則がわかれば、過去にこの宇宙で起こった出来事や、いま現在見られるさまざまな現象を論理的に理解することができ、これからどのよう

なことが起こるのかさえも科学的に予測できる。

生物学はどのような学問であろうか。

遺伝子の正体がわかり、生物のからだのつくられ方や、呼吸、光合成のしくみなどが急速に解明されつつあるのは、現代生物学の成果である。生物は物（もの）であるので、生物体内で起こる出来事と生物が起こす現象は基本的に物理学と化学の原理・法則を適用して説明できる。一方、生物の成り立ちに目を向けてみると、生物が宇宙の普遍的な法則のもとで存在しているのかどうかについて、興味深い想像ができる。

いまから 46 億年前に地球ができ、40 億年前には最初の生物が海で誕生した。地球に生物が生まれたのは事実であるが、それはまったくの偶然、それとも必然だったのか。この宇宙に生物を発生させる普遍的な法則があるのだろうか。あるとすれば、地球以外の天体に生物がいる可能性がある。

生物が誕生して以来、ほんとうに多種多様の独特の形とはたらきを備えた夥しい数の生物が現れては消えた。生き残った生物の一部は、複雑な構造と高度の機能をもつ生物へと進化した。生物が進化し、多様化・複雑化・高度化するという現象は、この宇宙に存在する生物という物（もの）すべてがもつ普遍性なのだろうか。そうだとすれば、生物は進化するという自然法則があるのではないだろうか。

生物は地球の環境に依存し、また、地球環境の変化に適応して生きてきた。むしろ、生物が能動的に地球の環境を変えてきた局面もある。35 億年前に光合成能力を獲得した藻類は、その当時の大気の主成分であった二酸化炭素を吸収し、その代わりに大量の酸素を放出した。そのおかげで、酸素呼吸をする生物が進化し、さらに有害な紫外線をカットするオゾン層ができて多くの植物と動物が陸上に進出できるようになった。生物が地球環境を変化させ、その変化し

た地球環境に適応する新しい生物が進化してくるという、生物と自然環境との密接な相互関係、さらに生物同士の相互作用が見えてくる。このように、生物は自らが生存する自然環境と自らが属する生物集団の構成を変化させ、多様な環境と生態を自ら作り出す特性がある。この特性は宇宙の普遍的法則によって導かれているのではないだろうか。

自然は宇宙そのものである。

国際物理年を遡ること 36 年、1969 年 7 月 20 日に人間は初めて地球以外の天体に降り立った。宇宙飛行士が見た月の自然は、荒涼と広がる砂と石の大地、それと宇宙空間がむき出しとなっている真空の空であった。一方、金星は地球に最も近い惑星で、もともと大量の水があった。しかし、地球よりも少しだけ太陽に近かったので、極端な温室効果もたらされ、水は水蒸気となってほとんど宇宙空間へ拡散してしまった。いま金星の地表には、ほぼ二酸化炭素だけからなる厚い大気が被さり、その圧力 90 気圧、その気温 470 という自然がある。月と金星のこのような自然は宇宙の普遍的法則に従って形作られてきたそれぞれの結果である。生物が存在する証拠は未だ得られていない。

普段、私たち人間は、身の回りの環境として自然を意識している。日々の天候と気象、山や平地、湖沼、河川、海などの地形、それに、森や草花などの植物と野鳥や虫、犬猫などの動物。それらの身近な存在はもとより、それらの移り変わりも感じている。熱帯から、ツンドラ、砂漠まで、また、深海底から火山口域に至るまで、地球の広範囲にわたるさまざまな環境で、いま現在、数百万種、いや数千万種にも及ぶかも知れない多様な生物種が相互に関わり合いをもちながら生きている。それら生物種それぞれの存在自体が、自らが進化してきた独自の長い歴史と系譜そのものである。これらの生物が生きている環境と、これら多種多様の生物が織りなす生物活動と生態は、まさしく生物的自然であ

る。私たちにとってかけがえのないと思えるこのような豊かな生物的自然は、やはり普遍的な法則が支配する宇宙の中にある。

2. 藻類で見る生物の歴史性

水中にゆらゆらと育っている植物のようなものを、私たちはふつう「も = 藻」、
「のり」、または「こけ」(ただし、藻はコケ植物ではない)と呼んでいる。コンブやワカメ、アオノリ、テングサなどの藻は、藻類(そうるい)のなかまである。藻類は、陸上にいる植物と同様に、光合成によって二酸化炭素を吸って酸素を出し、地球の環境を整えている。

生い立ちとは、生まれてから成長するまでの過程・経歴を指す。この物語では、生い立ちの意味をもっと広げ、地球に藻という生物が初めて生まれた時代から、現在の多種多様な生物たちが発達してくるまでの長い歴史を辿る。そうすれば、私たちにとって藻がどんなに大切なものであるかが見えてくる。

いま地球に生きている生物

この地球には、認知されているものだけで 150 万種、未知のものを入れると数千万種の異なる生物が生きていると言われている。1000 万種の生物を知ろうとすれば、毎日 1 秒間に 1 種ずつ 8 時間かけて見るだけでも、ほぼ丸 1 年間で費やしてしまう。この方法では、1 つひとつ種のからだの形やはたらきなどが違い、実に多種多様な生物がいるということは分かる。多種多様な生物が集まって単に全体をなしているだけなら、生物は混沌であるという認識でしかない。しかし、それぞれの生物間で何が違うのか、なぜ違うのか、また、その違いの範囲と程度を整理すると、決して混沌ではない生物の全体像が浮かび上がってくる。私たちは、生物全体の構成と生物間の関係を把握するため、共通の特徴

と性質をもつ生物どうしをなかま分けしている。

生物をなかま分けして区分する大きな基準は2つある。1つ目は、生きるための栄養を自分で作ることができるか否かという生理学的な性質。もう1つは、からだを構成している細胞が堅い細胞壁をもつか否かという形態学的な特徴である。そこで、すべての生物の中から、細胞壁をもち、かつ、太陽の光を利用して自らでんぷんを合成する性質をもつ「植物」というなかまを集める。次に、植物以外の生物から、細胞壁をもつけれども、自分で栄養をつくることができず、生物の遺骸から栄養を吸収して生きる「菌類」(キノコとカビのなかまを含む)というなかまを取り分ける。残りの生物からさらに、細胞壁がなく、柔軟なからだを有し、他の生物を食べて栄養をとる「動物」というなかまを集める。

植物、菌類、動物という3つの大きななかまは私たちの目で直接見ることができる。しかしこれらの他に、もっとからだのつくりが単純な生物がまだ残っている。ゾウリムシやマラリア原虫などの「原生生物」と大腸菌などの「細菌類」である。このように、地球上の生物を5つのなかまに分けることができる。

細菌類は、その他4つのなかま、植物、菌類、動物、原生生物と大きく異なる細胞学的な特徴がある。細菌類では、遺伝子を含んでいるDNAが膜で包まれていないのに対し、植物、菌類、動物および原生生物の細胞は、DNAを膜で包む核という構造をもっている。核をもたない細菌類は「原核生物」とよび、核をもつその他のなかま、「真核生物」と区別する。また、細菌類の多くは地中や水中に含まれる養分を分解して生きている。

藻はどのような生物なのか？

生物は5つのなかまに分けることができると述べた。しかし、藻はこれら5つのどのなかまにも全体がしっかりと収まらないグループなのである。それは

なぜだろうか．

藻は「植物」と同様に光合成をして自分自身で栄養をつくる．しかし，からだの構造が植物ほどに発達していないという理由で，「植物」のなかまからはずされ，「原生生物」の一員に入れられることがある．実際，単細胞の藻がいるからである．その場合，「原生生物」のなかまの中に，光合成ができない動物的原生生物と光合成をする植物的原生生物が混在してしまう．また何と，「細菌類」のなかまに入る藻もいる．藍藻（らんそう）は光合成をする「原核生物」で，シアノバクテリアともよばれる．

藻はどの生物のなかまにもぴったりとあてはまらないので，藻全体を藻類としてひとくくりにまとめられる．藻類は次のように定義されている：光合成をする生物のうち，種子植物，シダ植物，コケ植物を除いた残りのすべての生物全体が藻類である．このように藻類は，細菌類，原生生物，植物というなかま分けを越えた幅広い特徴と性質をもっていることが分かる．また，このことが藻の生い立ちを考える上で大変重要な意味をもっている．

最初の藻の出現

藻の生い立ちを考えるには，生命の起源にまで遡らなければならない．

地球ができたのは，今からおよそ 46 億年前と考えられている．灼熱のできた原始地球から経過すること 1 億年，その最後の数百年間降り続いた大雨によって海が一気にできたと推測されている．そして，その海の中で生命が誕生した．それは今から約 40 億年前と見積もられ，当時生きていた生物の化石も発見されてきている．

誕生した生物は，現在の細菌類に似た原核生物であった．これらの生物は海に溶けている栄養分を分解して生き，分裂・増殖した．生物がどんどん増殖す

ると、当然ながら、海水中の栄養分が不足してくる。栄養の取り合いと栄養の枯渇、この問題を克服するように、2つの異なる生物が新たに出現した。

1つは、海水中に溶けている栄養分ではなく、生きている原核生物そのものを食べて栄養を得る生物であった。このような生物は、原核生物を食べるために大型化し、さらに、DNAを収納する核をつくって真核生物の祖先となった。もう一方の生物は、他に栄養分を求めるのではなく、太陽の光のエネルギーを用いて自分自身で栄養をつくる能力を獲得した。光合成をする原核生物、すなわち、地球史上最初に出現した藻、藍藻である。今から約35億年前に現れたといわれている。



臨海実習：高知県横浪半島で海藻を採集している高知大学理学部生物科学コースの学生

藻が地球環境にもたらした大きな出来事

生命が誕生したときの地球には、分子状の酸素(O_2)がほとんど存在せず、大気の96%は二酸化炭素であった。それゆえ、当時の海水中には、酸素分子がなく、二酸化炭素が大量に溶け込んでいる状態であった。因みに、現在の大气中の二酸化炭素濃度は0.03%である。

光合成は、水と二酸化炭素を原料とし、光のエネルギーを用い、炭水化物(糖やでんぷんなど)を合成して酸素分子を放出する反応過程である。酸素は光合成の副産物として排出される。

藍藻は光合成によって自力で栄養をつくって増殖し、今から約20億年前に大繁栄した。その名残は、オーストラリアの海岸にあるストロマトライトに見られます。藍藻の大繁栄の結果、大量の酸素分子が海水中に放出された。それら

の酸素は、初め、海水中に多量に含まれていた鉄イオンと結合して酸化鉄となり、できた酸化鉄は徐々に海底に沈殿して鉄鉱石となった。やがて、鉄イオンがなくなり、海水中に飽和した過剰の酸素分子はついに大気中へと放出されるようになった。

藍藻の繁栄とともに、後に述べるように、新たな多種多様の藻類が出現した（約 15 億年前）。藍藻を含むこれら海に生育している藻類が行う活発な光合成により、大気中の酸素は飛躍的に増加した。これが、その後の地球環境と生物進化に画期的な影響を及ぼすことになった。

紫外線は生物にとってなくてはならない DNA を破壊する。大気中に酸素がなかったころ、太陽から地表に強力な紫外線が直接降り注いでいたが、水中では、紫外線は水深とともに徐々に弱められる。最初の生物が海で生まれ、海で生きてきたことの原因がここにある。

藻類が放出した酸素は、大気の上層部の高度約 20 km から 50 km の領域で、太陽から来る紫外線と反応し、オゾンに変化した。オゾンはそれ自身紫外線を吸収する性質をもっている。大気の上層部で形成したオゾン層が紫外線をカットし、約 4 億年前には、地表部に生物が生存できる環境がつけられた。藻がその後の生物の陸上進出を支える地球環境を整えたのである。

藻の出現と生物の多様化

藍藻の光合成によって海水中に酸素分子が存在するようになると、酸素を用いて栄養分を分解する（酸素呼吸する）原核生物が新たに出現した（約 22 億年前）。酸素呼吸は、酸素を用いない呼吸（無気呼吸）より、もっと大きな分解エネルギーが得られる。この時点で、生活様式の異なる次のような生物が海に存在していた。

1. 海水中の栄養分を，酸素を用いず分解する（無気呼吸する）原核生物．
2. 海水中の栄養分を，酸素を用いて分解する（酸素呼吸する）原核生物．
3. 光合成をする原核生物（藍藻）．
4. 原核生物を食べて無気呼吸する真核生物の祖先．

4のタイプの生物がどのように原核生物を食べていたかというところ、アメーバが外界からえさを取り込むように、自分の細胞膜で原核生物全体を包み込んで細胞膜ごと細胞内へ飲み込む。細胞内では、細胞膜からなるシャボン玉の中に原核生物が入っているような状態になっている。シャボン玉の中に取り込まれた原核生物は、その中で消化酵素によって分解され、最終的に取り込んだ生物細胞に吸収されて栄養になってしまう。このような食べ方をしていた真核生物の祖先の一部がそれまでとは変わったことをした。細胞内に取り込んだ原核生物を分解しないで、そのまま留め置き、細胞内で「飼育」したのである。この変わり者の真核生物の祖先がその後の生物の多様化に大きな役割を果たした。

変わり者の1つは、上記2の酸素呼吸する原核生物を飼育した真核生物の祖先である。原核生物を細胞内に保護してやる代わりに、原核生物の酸素呼吸能をそのまま獲得したのである。酸素を用いることにより、大きな酸化分解エネルギーを得ることができる新しい真核生物に生まれ変わった。このような真核生物は後に原生生物を経て動物または菌類へと進化していくことになる。

さらに、上の酸素呼吸能を獲得した真核生物のこれまた一部の変わり者が、今度は、上記3の光合成をする原核生物（藍藻）を細胞内で飼育した。その結果、この生物は酸素呼吸能と光合成能力を併せもつようになり、その後、この新しい生物は真核生物の様々な藻類（緑藻や紅藻など）へ、さらにはコケ、シダ、種子植物へと進化していった。

まだある。他の生物を食べる真核生物の祖先の変わり者が細胞内で飼育する

のは、原核生物だけに限らなかったのである。真核生物も飼育したのである。前述の酸素呼吸能と光合成能力をもつようになった真核生物、つまり、すでに緑藻や紅藻になった細胞を取り込み、これを細胞内で飼育した真核生物の祖先がいた。藻類細胞を取り込んだこの生物は、別の新たな藻類（褐藻や珪藻など）へと進化していった。

真核生物の祖先は、原核生物が進化させた特別な能力を、自らは開発せず、いわば濡れ手に粟のように獲得した。このように、細胞の中に別の生物の細胞を飼育し、新しい能力をもった生物になる様式を、細胞共生とよぶ。異なる生物同士の細胞共生により、生物の多様化が一気に起こったと考えられている。これも、最初に出現した藻の存在とその活動が引き金になったことなのである。

生物の陸上への進出

藻類が活発に光合成し、水中から大気中へ放出された大量の酸素分子のおかげで、生物にとって有害な紫外線を遮るオゾン層が形成された。今から4億年前のことである。最初に陸上へ進出したのは植物であった。海の浅瀬から河川・湖沼へ、そして、約3億年前には巨大なシダ植物が大繁栄した。繁殖したシダ植物の遺骸が石炭として残され、当時吸収した二酸化炭素に由来する大量の炭素がその中に閉じこめられている。植物に続き、節足動物などの無脊椎動物が上陸し、最後に、脊椎動物である両生類が陸上への進出を果たした。このように、藻類が出現・存在したからこそ、生物は大きな進化を遂げて水中から陸上にまで生活領域を拡大できたのだらうと考えられる。

現在見られるコケ、シダ、種子植物を含む陸上植物の祖先は、アオサやアオノリなどの緑藻の祖先と同じである。言い換えれば、緑藻の祖先がなければ、陸上植物は存在しない。テングサ、アサクサノリなどの紅藻は緑藻と同様の生

い立ちをもっているが、その祖先からは陸上へ進出する生物は結局進化しなかった。コンブ、ワカメなどの褐藻と珪藻は、紅藻の祖先を細胞共生させているが、これらの藻類の祖先も陸生化は果たせなかった。しかし、これらすべての藻類と植物の光合成能力は最初に出現した「藻」に由来していることは紛れもない事実であり、この「藻」がいなければ、現在の地球はどのような姿になっていたか想像できない。



藻場：アマモ(下草)とホンダワラ(直立)が密生している。フィリピンルソン島北部サンタ・アナの海中。

現在の藻類の役割

藻類は植物と同様に一次生産者である。とくに、広大な海洋においては、植物プランクトンとよばれる藻類（主に珪藻）が動物プランクトンや稚魚の食料源となっている。植物プランクトンの減少は魚や貝類などの漁獲高の減少につながる。

藻場は海の沿岸または海水が流入する河川に発達し、主にホンダワラやカジメなどの褐藻からなるガラモ場と、アマモやコアマモなど水中に生育する種子植物からなるアマモ場がある。藻場は様々な動物のえさ場になるだけでなく、それらの動物や魚類の隠れ家と産卵場としても使われる。また、動物だけではなく別の種々の藻類も付着し、藻場は多種類の藻類と動物が密に影響を及ぼしあって共存している運命共同体アパートのようなものである。さらに、藻場を構成する藻類は、河川から流出される富栄養な水に含まれる栄養塩類を吸収して成長し、海の水質を浄化させる。さながら不純物を漉し取るフィルターの役

目を果たし、その上、漉し取ったものを利用して自分の体をつくり、藻場に生活する種々の生物を含む生態系を維持している。

化石燃料の大量消費や森林伐採などの人間活動の結果、大気中の二酸化炭素の濃度が増加し始めたのが一因で、地球の温暖化が進んでいるといわれている。光合成によって二酸化炭素を吸収する役割を担っているのは、陸上にある植物と藻類だけなのである。

私たちは地球が生命を育んできたことをよく理解している。そのなかには、生物がむしろ能動的に地球環境を変化させ、生物が進化・繁栄できる環境をつくってきたという事実もある。地球環境の変化と生物間の競争が、長い生物の歴史のその時々により、繁栄する生物種を交代させたことも事実である。このような生物と地球環境との関係および生物同士の関係は、過去、現在、未来にわたって本質的にまったく同じであり、地球が存在する限り継続していかろうと考える。

3. 多様性を認識する局面

移り変わる景観

イリノイ州シカゴから出発し、車に乗って沿線各地を紹介しながら歌を口ずさみ、到着地カリフォルニア州サンタモニカに至る。アメリカ合衆国北東部から南西部を全長 3755 km に渡って横断するかつての国道、それはルート 66 である。車窓から景観は次々に移り変わる。都市、ミシシッピー川兩岸にうっそうと茂る森、見渡す限りのコムギ畑、草原に放牧される牛とそれを追うカウボーイ、時折国道を横切るロードランナーとアルマジロ、ごつごつした岩肌のキャニオンと点在するサグアロサボテン、砂漠を越えると、ヤシの木並ぶ西海岸の眩しいビーチ。日本はアメリカにはない景観がある。水田には、カエルやタガ

メ、タニシなどが生息する。神社を守るように囲う竹林もある。陸上だけではなく、海にも異なる景観がある。まず、海の大部分を占める海洋。沿岸に目を向ければ、海藻は冬から初夏にかけて繁茂し、藻場をつくる。藻場は小エビや小魚の住居兼食料となる。熱帯から亜熱帯の島々を囲む



乾燥地の植物：林立するサグアロサボテンとテディベアサボテン（米国アリゾナ州）
サンゴ礁は、その表面にいるサンゴ虫という動物が長い年月をかけてつ

くった石灰質の地形である。生きているサンゴ礁のまわりには、ヒトデ、貝類、魚類などが棲んでいる。色々な所に多彩な生物が適応する。一口にサンゴといっても、テーブル状に発達するクシハダミドリイシ、樹枝状のスギノキミドリイシ、波板状のリウモンサンゴなど、多数の種がいる。コンブも、マコンブ、ミツイシコンブ、20 m も伸びるナガコンブ、1 本の茎から何枚も葉が出るゴヘイコンブなどの異なる種がある。一般に、違う種同士は交配しない。だから、同一種の個体がまったくいなくなれば、その種は絶滅する。同じ場所、そして別々の場所にも多様な種が生きている。

地球は、陸に、川に、海に、気候や水温などの環境が異なるいくつもの場所がある。また、そこに生育する植物の種とその近くに棲息する動物の種との組み合わせは、それぞれの場所によって異なっていることに気づく。未だに人間の手が入っていないボルネオの熱帯雨林から、人々が先祖代々石組みで築いてきた棚田まで、様々な生態系が成り立っている。

ルート 66 はインターステートハイウェイの発達によって廃線となった。月に

人間を送り込み、無事に地球に帰還させるという壮大なアポロ計画を立てたのは、この国が生んだ最も若い大統領ジョン F.ケネディであった。彼は、新天地を求めて北アメリカへ移民してきたアイルランド人の子孫である。これらの人々がアイルランドから追い出された原因はジャガイモであった。

ひとり勝ちはあるか

イネ、ムギ、トウモロコシなどの種子は穀物として人間の主要な食料源である。しかし、「いも」を忘れてはならない。ジャガイモとヤムイモは茎の「いも」、サツマイモとキャッサバ、タロイモは根の「いも」である。これらの「いも」は人類が必要とするカロリーの80%を供給している。

ジャガイモは寒冷気候を好む。また、種芋から容易に殖やせる。

16世紀、スペイン人が南米アンデス山脈の高地にあったジャガイモをヨーロッパに持ち込んだ。とくにアイルランドでは、寒冷な気候に耐えてコムギよりも収量が多いジャガイモの栽培が急速に普及し、やがて人々の主食となった。1840年代、ヨーロッパ全域をジャガイモの疫病が襲い、ジャガイモ生産は壊滅的な打撃を受けた。その結果、食料としてジャガイモに依存していたアイルランド人の人口は半減した。100万人以上が餓死し、200万人以上が移住した。この時に北アメリカに移民した人々のなかに、後にアメリカ合衆国大統領を輩出したケネディ家の祖先が含まれていた。彼らはアイルランドを去り、新天地に挑戦したのである。

ジャガイモの疫病の原因はカビ（菌類）の感染であった。このたった1種の病原菌で、なぜヨーロッパ中のジャガイモのほとんどが枯死したのだろうか。

ジャガイモの原産地アンデス地方では、ひとつの畑に異なる品種のジャガイモを混ぜて植えるという伝統的な習慣がある。病原菌が発生したとき、ある品

種は枯死しても，その他の品種はその菌の感染に耐えて生き残り，その畑のジャガイモが全滅することはない．別の病原菌が入ってきても同様に，選択的にいずれかの品種のジャガイモは育ち，全部が枯れてしまうことはない．アイルランドでは，ジャガイモの導入後，収量の多い品種だけを栽培するようになった．そこに病原菌が侵入した．その品種はこの病原菌に対して耐性がなく，また，耐性を持つかも知れない他の品種は畑に植えられていなかったのので，結果としてアイルランドのジャガイモはほとんど全滅状態になった．

ジャガイモは種芋で殖やす．種芋は親のからだの一部であるので，種芋から芽吹く子のからだと子が作るジャガイモは，やはり親のからだを元にして育ってきていることになる．子は親とまったく同じ性質（同じ遺伝子）をもつので，種芋で殖えてくるそのジャガイモの集団全体はクローンである．品種が違つと，それぞれのジャガイモの遺伝子も違つ．たとえば，小さい芋しかできないけれど，カビに強い遺伝子をもつジャガイモの品種と，カビに弱いけど，芋は大きい品種がある．色々な性質を示すジャガイモが共存し続けることは，多数の品種と多様な遺伝子の存在を保証する．アイルランド人が大きくて数多く収穫できるジャガイモを種芋として無意識に選別してきたことが，ジャガイモの遺伝的な多様性を狭めることになった．

それとも，共に生きる

ジャガイモの病原菌となるカビと病気になるジャガイモとの関係を考えると，そこから自然界で起こる生物間関係の多様な段階が見えてくる．

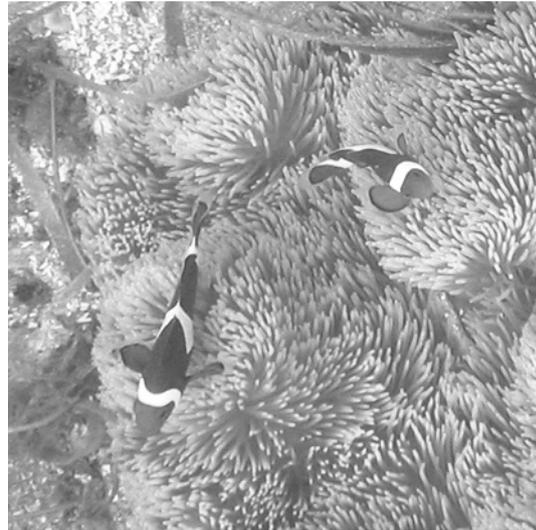
カビは自分で栄養を作れないので，ジャガイモに感染して栄養を摂り，生き延びる．カビの菌糸は芋の内部へ侵入し，消化酵素を出して細胞内のでんぷんを分解し，水に溶ける糖にしてから吸収する．吸い尽くされたジャガイモは死

ぬ。カビは一方的な利益を享受し、逆に、ジャガイモは一方的に不利益を被る。このジャガイモはこのカビとは一緒に生活することができない。このカビが蔓延してこのジャガイモを全滅させると、増殖したカビのほとんどは栄養源を失って消滅する。このカビは自分の生存に必要なこのジャガイモという宿主を生き長らえさせる許容力をもたない。宿主を殺してしまう病原菌は極端な寄生者といえる。この場合、両者は共に生きていく状態に達していない未成熟の関係である。

宿主から一方的に利益を受けるが、宿主を生き長らえさせる寄生者がいる。カイチュウは人間の腸の中に生息し、人間が食べた食べ物の消化物の一部を摂取する。人間は軽い栄養失調になって生きているが、カイチュウに臓器を破られて死に至ることもある。今のカイチュウは動物の体内でしか育つことができない。宿主がいなかった時代のカイチュウの祖先はどのように生きていたのだろう。自然の中でカイチュウの祖先は他の生物と食べ物を巡って生存競争していた。また、自分が鳥の餌になってしまう危険もあった。熾烈な競争に負けそうになったとき、宿主が現れた。宿主の腸内に競争者も捕食者もないし、食べ物はふんだんにある。カイチュウの祖先は形を変え、色々な方法で宿主腸内への侵入・定住を試みた。それらの子孫の一部がこの挑戦に勝ち残ったが、この勝利は、自然の中で、自分自身で餌をとる能力の喪失と引き替えであった。サナダムシなどの寄生虫が体内にいるとアレルギーやアトピーが起こらないという人がいる。今は人間にとっては迷惑であるが、人間とカイチュウなどの寄生虫との関係は共に生きていくことが可能な段階になってくるのかも知れない。

クマノミはイソギンチャクの周囲を棲みかにしている。両者は共に生きていく段階になっている。イソギンチャクは触手から毒針を発射し、寄ってきた魚を麻痺させて食べる。しかし、クマノミに対しては毒針が出ない。クマノミ

はイソギンチャクの触手の間に隠れて外敵から身を守るので、クマノミは利益を得る。イソギンチャクはクマノミから直接の被害を受けていないが、クマノミと一緒にいてメリットはあるのだろうか。



特定の植物に感染して栄養を吸収するけれども、とりついた植物をイソギンチャクの触手に戯れるクマノミ：生かしておくというより、むしろ植物 フィリピンルソン島南東部サンミゲル島に利益を供与して一緒に生活できる細菌がいる。この植物は光合成によって自分で栄養を作ることができ、もともと単独で生きていける。この細菌も植物がいなければ土壌中の有機物を分解してエネルギーを得、単独で生きていける。では、どうしてこれらの植物と細菌は共に生活する必要があるのだろうか。

この細菌は他の生物にはない特別な能力を持っている。空気中の窒素ガスを使って窒素化合物の1つアンモニアを直接合成することができるのである。窒素は生物にとってなくてはならないタンパク質や核酸、酵素等の物質を構成する原子である。しかし、普通の生物は周りに大量にある窒素ガスを利用できない。植物と菌類、細菌類は土壌中に薄い濃度で溶けている硝酸塩（窒素化合物）を窒素源として体内に吸収し、アンモニアにしてからタンパク質を作る。動物は植物や他の動物を食べ、食べた生物に含まれていたタンパク質をそのまま窒素源とする。面白いことに、動物が死ぬと、その遺骸に含まれるタンパク質は菌類と細菌類が分解してアンモニアとなり、最後には細菌類が硝酸塩にまで分解して土壌中に戻る。窒素はリサイクルされる。

窒素ガスを利用できる細菌は、レンゲやダイズなどのマメ科植物、ハンノキ

やヤマモモの根の組織に侵入し、根粒を形成する。それでこの細菌を根粒菌とよぶ。植物組織内に入った根粒菌は、土壌中から有機物を取れなくなるため、光合成をしている植物から有機物を少しだけ吸収する。その代わりに、根粒菌は窒素ガスから合成したアンモニアの一部を植物に分ける。植物にとっては、土壌から硝酸塩を吸収してわざわざアンモニアにするより、体内で直接アンモニアが供給されることは利益がある。有機物と硝酸塩が土壌中に希薄なやせた土地では、根粒菌と植物が共に生活することはお互いに大きなメリットがある。このような生物同士の関係は、成熟した共生の段階といえるのではないだろうか。

しかし一方、肥えた土壌がいつまでもあれば、根粒菌とマメ科植物と一緒に生活することもなかっただろう。土壌中の有機物が枯渇したとき、根粒菌の祖先は背に腹は代えられない。光合成のできるマメ科植物の祖先に感染して栄養を一方向的に搾取しようとしたのかも知れない。果たして根粒菌は植物から栄養を吸収した。しかし、植物は侵入してきた根粒菌から逆にアンモニアを奪取した。アンモニアを合成できる根粒菌と光合成ができるマメ科植物、両者の特性と存在感がぶつかり合った瞬間。植物にとって硝酸塩が枯渇していた時に、窒素の供給源が訪れてきてくれたのだから、少くとも栄養を取られてもしかたがない。このように、最初は無理矢理に、両者ともいやいやながら共生が始まったのかもしれない。

このような出来事は古昔にも多数あったと想像される。

たとえば、原核生物を食べて分解し、生きるためのエネルギーを得ていた真核生物の祖先。それと、海水中の有機物を、酸素を使って分解できる酸素呼吸する原核生物との間の関係である。このころすでに光合成をする能力を獲得した原核生物、すなわち藍藻がいたので、地球の有機物の総量は以前よりはるか

に増加していた。しかし、それらの有機物は歴大な数の生きている生物を含んでいる。それ以外は、生物の遺骸とそれが分解して海水に溶けた有機物である。真核生物の祖先は大勢いる他の自分のなかまに負けまいと種々の原核生物を取り合って食べていた。なぜなら、真核生物の祖先は酸素呼吸できないので、食べ物から取り出せる分解エネルギーが小さい。大食いで、未消化の有機物を排出するので非効率である。酸素呼吸できる原核生物は、真核生物の祖先から見ると、水中の有機物を分解して生きている他の原核生物と同様に餌でしかなかった。真核生物の祖先の人口が増大し、餌が枯渇してくる。原核生物は食われ尽くされて絶滅するかも知れない。この時、飲み込んだ酸素呼吸する原核生物を、細胞内でしばらく生かしたまま留め置く真核生物の祖先がいた。真核細胞の祖先の細胞内に留め置かれた原核生物は、しかたなく周囲（細胞内）にある未消化な有機物を吸収し、酸素を使って完全に分解した。また、分解して得たエネルギーの一部を自分の周囲へ戻すことも忘れなかった。真核生物の祖先にとって、この原核生物を消化・分解するか、細胞内で生かしておくか、どちらを選んだらう。どっちみち捨てる有機物を原核生物に使わせてエネルギーを吸い取る方を選択した。酸素呼吸できる原核生物は、細胞内に留まった方が楽に有機物を吸収できるし、何よりも他の真核生物の祖先に食われない。しかし、この真核生物の祖先が心変わりしていつ自分を消化するかわからない。一方、真核生物の祖先は、この原核生物が細胞内で勝手に殖えすぎられても、また、細胞から外へ逃げられても困る。お互いに非常な緊張状態で共生関係を保ったであろうと考えられる。このような異なる細胞同士が一時的に共生する現象は現在でも起こっている。

真核生物の祖先は原核生物から、その酸素呼吸能を失わせないように、主要な遺伝子を引き抜いて自分の核に組み込んだ。もはや 2 つの別種の細胞からな

るキメラではなくなった。真核生物の祖先と原核生物は一体化し、酸素呼吸できる新たな真核生物に生まれ変わったのである。かつての原核生物はミトコンドリアとなって酸素呼吸とエネルギー供給を担い、核と同調して分裂する。この新たな真核生物は原核生物を食べるけれども、ミトコンドリアは消化しないし、何回分裂しても、すべての細胞に核とミトコンドリアがいつも正確に分配される。その調和は共生関係を越えて美しいとさえ思える。この真核生物の子孫は菌類と動物へ進化していくが、一部はさらなる挑戦に向かった。食料を他の生物に依存していることは未熟である。自分自身で栄養を作ろう。挑戦者は藍藻と一体化する道を模索したのである。

競争と依存，そして挑戦

昔の生物は食べ物と栄養を巡って熾烈な生存競争をしてきた。食べる・食べられるという関係も複雑化してきた。今はどうなのか、食べることを中心に、私たちの日常を振り返ってみる。

朝、布団の中で目覚める。昨夜は大雨だったけれども、天露をしのぐ家があつてよかった、とは思わない。無意識に蛇口をひねって水が出るので、洗面と歯磨きを済ます。食パンを電気トースターで焼いてマーガリンを塗り、電気冷蔵庫から牛乳とレタスの葉を取り出して簡単な朝食を済ます。水洗トイレに行ってから、そうだ、今日は燃えるゴミの日だと思い出し、紙くずと生ゴミを持って表に出る。そして、午前中の仕事や勉強に取りかかる。そのうちおなかがつく。昼休みには、家でガス調理器を使ってうどんを温める人、お弁当を開く人、食堂でカツカレーを、脂身が少ないのでニュージーランド産の肉だなと思いつきながら食べる人がいる。午後は再びそれぞれの活動に戻る。業務終了後、または放課後は、運動競技、演奏活動、スーパーマーケットで米、野菜、肉など

の買い物，赤提灯で一杯など各人自由に余暇を楽しむ．夕食はほとんどいつも家で献立をするけれども，たまには西洋レストランでフランスワイン片手にフルコースもいい．熱いお風呂に入って就寝する．

夢を2つみる．

未来都市，部屋の窓越しに白銀に反射するビル群．居住区とオフィスが．そびえ立つ建物の間を縫うハイウェイ，その上を車輪のない「車」が次々に音もなく滑っている．街路樹とハトは見あたらない．振り向いて「トーストとコーヒー」と声を出すと，壁の一部が開き，注文した朝食が手元に来る．残飯と排泄の処理は自動的にやってくれる．どこかの工場で食料を合成しているロボットを室内のコンピューターでコントロールするのが私の仕事．疲れたので室外へ出ようとする時，警告音が鳴り，「外出装着，車に乗れ」と言う．なぜだと問うと，「外界は致命的紫外線量および気温 60℃」．私はこの快適な部屋の中にずっと閉じこめられて生きていくのか．ここは地球ではない，あり得ないと思った瞬間，次の夢が始まる．

何時間も歩いていた．おなかですいて食べ物を探していることに気づく．昨日はたしか椎の実を湯がき，一昨日は山芋を掘り当てたなあ．空腹なのに催す．脱糞後，その周りに多数の昆虫が群がる．あっそうだ，川には魚がいるはずだ．行ってみると何ということだろうか，熊が漁をしている．這々の体で逃げた先に，数羽のクロサギが湿原で何かをつついていて．しっしっ追っ払って水中を見ると，泥に入ろうとしているドジョウ．今日の獲物はこれだけかとうなだれ，狩猟・採集だけでなく，そろそろ野菜でも栽培しようかなあと考えている．

夢のダブルヘッダーから醒め，私たちの宿命について思いにふける．命を授かったものは必ず死ぬ．生きものにとって死は宿命である．まだある．生まれてから死ぬまでの間，私たち人間は生きるために食べ続けなければならない．

物にとって、他の生物を食べ、その栄養を摂取して生命を維持し、また、せっせと排泄物を出し、最後に死骸を残すことは宿命である。食べるために動物同士で獲物を奪い合うこともある。



動物が生きていくためには他の生物も必ず生きていなければならない。自

アフリカ象の家族：南アフリカ共和国シュルシュルウエ・ウンフォロージ公園

分一人では生きられない。言い換えれば、動物は動物が食べる生物に決定的に依存し、その生物に生殺与奪の権を握られていることになる。それはどのような生物だろうか。また、私たち動物はそれらの生物に一方的に支配されているのだろうか。

「HOLOHOLO」というハワイ原産の小エビを鑑賞する水槽キットがよく売られているそうである。ガラス製の水槽、といっても上に小さな口が1つ開いているだけの容器に、人工海水が満たされ、底には砂と小石が敷いてある。その中で、スカーレットシュリンプという小エビが散歩する。水の交換と餌やりは不用。室温に置いて部屋の明かりがあれば、あとは人工海水を補充するだけで、小エビは1年以上生きている。なぜ動物が食べずに生きていくことができるのだろうか。

実際、小エビは食べている。水中で生育する藻類である。藻類は光合成をして栄養を作り、増殖する。小エビは藻類を食べた後、それを消化・分解してアンモニアを排泄する。アンモニアは砂の中にいる細菌類が分解して硝酸塩にする。藻類はこの硝酸塩を吸収して自分の体に必要なタンパク質を作る。このサイクルを回すエネルギーの元は光である。光のエネルギーが光合成によって藻類の体のタンパク質に移される。小エビはそのタンパク質を分解して得られる

エネルギーで散歩する。アンモニアを硝酸塩に分解することで、残りのエネルギーが引き出され、細菌類が繁殖する。また、光合成をする藻類は二酸化炭素を吸収し、酸素を排出する。小エビは呼吸して酸素を消費し、二酸化炭素を排出する。藻類、小エビ、細菌類のどれが欠けても残りは生きられない。また、3者のどれかの活動だけが活発になったときも、エネルギーの流れのバランスが崩れる。これらの生産者、消費者、分解者は水槽内で一蓮托生である。このような小さな生態系をマイクロコスムという。

「HOLOHOLO」を見ていると、宇宙から地球を眺めているような気持ちになる。事実、宇宙と地球の間でほとんど物質の出入りはないし、外から来るエネルギーは太陽光線だけと言ってもよい。地球に生きているすべての生物は、マイクロコスムの中にいる生物とまったく同じく、一蓮托生と考えなければならないのだろうか。

今から4億年前、生物は36億年もの間生活していた水中から、未踏の陸上への進出に挑戦した。紫外線量は小さくなったが、陸で生活するために、乾燥や重力、栄養の問題を克服しなければならなかった。陸上へ上がった生物は水の中に留まった生物よりもずっと進化した。いま人類は地球以外の新天地を目指している。これは生物が進化するための挑戦なのだろうか。

エピローグ

生物の死は2つあると思う。

今生きている私という生物個体が死ぬこと。それから、私以外のみなさんの生物個体のそれぞれが亡くなり、私たちのまわりにいる多種多様な生物個体があちこちで、また、ランダムな時刻でいなくなるという死のありかた。これが1つ目の死。

私たちは親から生まれ、子を生む。親はその親から生まれた。その親はその親を生んだ親から生まれた。自分の先祖をずっと遡っていくと、そのうちチンパンジーの祖先と一緒に、さらにイモリの祖先とつながり、はては酸素呼吸する原核生物と共生した真核生物の祖先にまで来る。自分が今存在するということは、真核生物の祖先から自分までに至る間、生まれて生きて生むという活動を、途切れず連綿と繰り返してきたことを意味する。自分の先祖は一体どれ程の数いたのだろうか。その先祖は、今はいない。自分が生きているのは、このような夥しい数の先祖の死の結果の上に成り立っている。自分につながる先祖のうち 1 個体でも生まれ・生まなかったならば、自分は存在していない。生まれ・生まれなかった先祖がその種全体で発生してしまったこともある。ティラノザウルスは絶滅したので、今はいない。ティラノザウルスという種に含まれていたすべての個体が死んだ時、その種の子孫は断絶した。2 つ目の生物の死は系統の死である。

DNA は、生物を形づくり、生物が生きるための設計図と遺伝情報である。生物個体それぞれが生涯生きていくため、DNA の情報に従って体をつくり、呼吸や光合成などの機能を果たす。一方、生物個体は自分が生きている間に子を生む。親の DNA は生殖細胞を介して子へ、さらに子から孫へと伝わる。それによって子孫個体が生きるための情報を得ることができる。DNA が代々受け継がれることで、その生物の系統が生きていける。DNA は生物の個体と系統が生きるために不可欠である。

DNA から生物を見ると、生物はどのように位置づけられるだろうか。

DNA にとって、自然環境に直接さらされることは致命的である。生物の細胞内に滞在することは自分自身を守るのに役立つ。生物個体は DNA の一時的な安住の場所として使われる。生物個体は寿命があるので、DNA は新しい生物個体

を必要とする。DNA は生殖細胞を介して年取った親個体から若い子個体へと乗り移る。その生物の系統が続く限り、DNA はずっと生き続ける。DNA はしばしば突然変異する。突然変異した DNA をもつ生物個体は、置かれている環境に適応して生きていけるかどうかを試される。その自然環境に適応できない生物個体は死ぬ。自然環境に適応し、さらに優れた能力を獲得した生物は生き残る。このような自然淘汰の結果、進化した生物が出現する。もし DNA に突然変異する潜在力がなく、かつ、自然環境が激変した場合、DNA が乗っている生物個体は死に絶え、生物種は断絶してしまうかも知れない。進化して生き残った生物個体の DNA は、この生物の子孫へと移動していく。DNA は、自分が進化するために、生物個体を様々な環境条件に耐えるかどうかの実験材料として利用している。生物個体は DNA が連続して生き続けるための単なる使い捨ての器なのかも知れない。

生物と DNA は共に生きて生命をつないでいるように思える。もちろん、紛れもなく DNA は生物の一部である。しかし、DNA の立場になって考えると、地球上の私たち全体がすっぽり入っている自然と非情な宇宙に対し、DNA は自分を含む生物に乗って果敢に挑んでいるように見える。その生物の姿はいじらしく、頼もしく、また、華麗でもある。

参考図書

- 1) 「一冊で宇宙と地球のしくみをのみこむ」, 縣秀彦(監修), 東京書籍, pp. 315, 2003年.
- 2) 「人も環境も藻類から」, 石川依久子(著), 裳華房, pp. 191, 2002年.
- 3) 「藻類 30 億年の自然史」藻類からみる生物進化, 井上勲(著), 東海大学出版会, pp. 472, 2006年.

- 4) 「地球共生系とは何か」シリーズ地球共生系 1 , 東正彦・安部琢哉 (編) , 平凡社 , pp. 262 , 1992 年 .
- 5) 「生物環境科学入門」—持続可能な社会をめざして , 水谷広・廣海十朗・長谷川功・糸長浩司・上村賢治 (編) , 森北出版 , pp. 185 , 2004 年 .
- 6) 「したたかな植物たち」, 多田多恵子 (著) , 株式会社 SCC , pp. 231 , 2002 年 .
- 7) 「好きになる生物学」, 吉田邦久 (著) , 講談社サイエンティフィック , pp. 248 , 2001 年 .